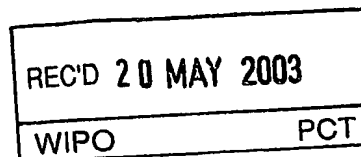


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 08 816.0

Anmeldetag: 01. März 2002

Anmelder/Inhaber: Continental Teves AG & Co oHG,
Frankfurt am Main/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Temperaturkompensation eines
Reifendrucküberwachungssystems

IPC: B 60 C 23/20

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 27. März 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Hilbinger

Dr. M. Grießer

F. Edling

H. Fennel

Dr. A. Köbe

Verfahren zur Temperaturkompensation eines Reifendrucküberwachungssystems

Es sind bereits Systeme zur Reifendruckerkennung bekannt, bei denen der Reifendruck auf Basis von Reifendruckmeßmodulen, die den Reifendruck messen und einen entsprechenden Meßwert zu einem im Fahrzeug installierten Empfänger aussenden (auch TPMS, d.h. "Tire Pressure Monitoring System" genannt) bekannt. Ein solches Modul kann beispielsweise in Ventilnähe in der Felge montiert oder mit dem Ventil baulich vereinigt werden. Ein bekanntes, auf der Druckmessung beruhendes, System benutzt in jedem Rad ein mitdrehendes Radmodul, welches in das Ventil integriert ist, den Reifendruck und außerdem die Reifentemperatur mißt. Diese Daten werden drahtlos zu einem im Fahrzeug installierten Empfänger übertragen und in einer elektronischen Auswerteeinrichtung verarbeitet. Die empfangenen und verarbeiteten Meßwerte werden entweder zur Anzeige eines Druckwertes oder zur Erzeugung von Warnsignalen bei Unterschreiten von vorgegebenen Luftdruckschwellen genutzt.

Bei dem vorstehend beschriebenen TPMS-System wird der gemessene Druck gemeinsam mit der Temperatur durch im Reifen angeordnete Drucksensoren bestimmt und an ein elektronisches Steuergerät, z.B. drahtlos, übertragen. Im Steuergerät wird die Druckinformation ausgewertet und zum Beispiel ein Warn-

- 2 -

signal ausgegeben, wenn ein Druckverlust erkannt worden ist.

Es sind aber auch Verfahren zur Reifendruckverlusterkennung bekannt, welche sensorlos arbeiten, wie z.B. das System DDS (Deflation Detection System), der Fa. Continental Teves, Frankfurt am Main. Bei DDS werden die Raddrehzahlinformationen der einzelnen Räder durch das Steuergerät des Antiblockiersystems über einen längeren Zeitraum hinweg verfolgt. Dies ist möglich, da an jedem Rad durch das ABS-System die Raddrehzahl sensorisch mit hoher Genauigkeit erfaßt werden kann. Es ist möglich, eine durch Druckverlust hervorgerufene Änderung des Abrollumfangs mit Hilfe eines geeigneten Algorithmusses zu erkennen. Ein bekanntes DDS-System erfaßt zunächst innerhalb einer Lernphase den Normalzustand des Fahrzeugs. Dies setzt voraus, daß dem System vom Fahrer, dem Hersteller oder der Werkstatt mitgeteilt wird, ab welchem Zeitpunkt der Reifendruck auf die vorgegebene Sollgröße eingestellt worden ist. Dies wird überwiegend mit einem im Armaturenbrett montierten "Reset"-Taster erreicht, welcher zum besagten Zeitpunkt manuell zu betätigen ist (Initialisierung). Nach einer geeigneten Zeitspanne ist der Normalzustand eingelernt, so daß die Druckverlusterkennung vom System aktiviert werden kann.

Bei der Anwendung eines direkt messenden Systems wie TPMS besteht der Bedarf, einen Reifendruckwert anzuzeigen, welcher unabhängig von den Umgebungsbedingungen, insbesondere der Temperatur ist. Es wird häufig als unangenehm empfunden, wenn ein im Armaturenbrett angezeigter Druckwert übermäßig schwankt, je nach Fahrbedingung oder Außentemperatur.

Bekanntlich ist der gemessene Druck eines realen Gases gemäß

- 3 -

der Boltzmann-Gleichung

$$P * V = n * K * T, \quad (1)$$

mit P = Druck, V = Volumen, n = Anzahl der Teilchen, k = Boltzmann Konstante und T = Temperatur,

auch von der Temperatur abhängig, bei der der Druck gemessen wurde. Entsprechende Gleichungen lassen sich für reale Gase, wie etwa Luft, aufstellen.

Unter einem Gas gemäß der begrifflichen Definition nach der Erfindung wird unter anderem Luft verstanden.

Aufgelöst nach dem Druck ergibt sich folgende Gleichung:

$$P = (n * K * T) / V. \quad (2)$$

Unter der Annahme, daß n und V konstant sind, ist der Druck P proportional zur Temperatur T .

Es besteht bei der Reifendruckerkennung, Druckverlusterkennung und der Anzeige des gemessenen Reifendrucks weiterhin das Problem, daß die Temperatur, welche auf an sich bekannte Weise sensorisch z.B. im Ventil gemessen wird, im wesentlichen die Felgentemperatur wiedergibt. Diese Temperatur entspricht jedoch vor allem bei Temperaturschwankungen nicht der Temperatur des Gases, mit dem der Reifen gefüllt ist. Zum Beispiel kann es sein, daß sich die Bremsscheibe des Kraftfahrzeugs erwärmt und als Folge davon die Felge eine erhöhte Temperatur aufweist. Es kommt zu einem Temperaturgradienten zwischen Reifen und Felge. Des weiteren kann es

vorkommen, daß eine plötzliche Änderung der Außentemperatur (Kraftfahrzeug wird beispielsweise von der Garage herausgefahren, siehe Fig. 1) stattfindet, welche auf Grund unterschiedlicher Wärmeleitung und spezifischer Wärme der Materialien ebenfalls zu den besagten unerwünschten Temperaturgradienten führt. Im allgemeinen reagiert eine Felge im Vergleich zu den aufgezogenen Reifen relativ schnell auf eine Temperaturänderung.

Nach der Erfindung wird die Gastemperatur (tatsächliche Temperatur im Reifen) eines im Reifen enthaltenen Füllgases mit größerer Genauigkeit, als bei bekannten Verfahren oder Vorrichtungen bestimmt und insbesondere zusätzlich ein entsprechend temperaturbereinigter Wert für den Druck zur Anzeige gebracht.

Die Temperaturbestimmung erfolgt direkt mittels physikalisch vorhandener Temperatursensoren und/oder über Temperaturgrößen, welche aus anderen im Kraftfahrzeug vorhandenen Kenngrößen abgeleitet sind. Bei diesen Kenngrößen handelt es sich vorzugsweise um Größen, welche den Fahrzustand beschreiben und welche besonders bevorzugt in einem elektronischen Bremsensteuergerät mit ABS und/oder ESP ohnehin zur Verfügung stehen. Aus den Fahrzustandsgrößen läßt sich dann der Reifenzustand ermitteln, welcher Hinweise über die Temperatur des Reifens liefert. Die Fahrzustandsgrößen können ebenfalls teilweise oder ganz aus Sensorinformationen (z.B. Raddrehzahl, Gierrate, Querbeschleunigung, Bremsenbetätigung usw.) ermittelt sein.

Folgende sensorische bestimmte Temperaturinformationen können erfindungsgemäß bevorzugt einzeln oder in Kombination

miteinander ausgewertet werden:

- Temperaturfühler von Reifendrucksensoren, welche beispielsweise auf der Felge montiert sind,
- Außentemperatursensor/-en
- Temperatursensor eines elektronischen Steuergeräts, insbesondere Bremsensteuergeräts und
- Bremsscheibentemperatursensor.

Neben den vorstehend genannten physikalischen Temperatursensoren können auch rechnerisch zu ermittelnde Temperaturinformationen verwendet werden. Diese Temperaturinformationen lassen sich, wie oben beschrieben, aus Fahrdynamikgrößen ableiten und werden nachfolgend als "virtuelle Temperatur" bezeichnet.

Folgende virtuelle Temperaturen können erfindungsgemäß bevorzugt einzeln oder in Kombination miteinander herangezogen werden:

- virtuelle Temperatur der Bremsscheibe und
- virtuelle Temperatur des Reifens.

Die auf diese Weise ermittelte bzw. abgeschätzte Gastemperatur wird bevorzugt im erfindungsgemäßen Verfahren genutzt.

Folgende Formel wird zur Berechnung des Drucks, z.B. für eine im Armaturenbrett angeordnete Druckanzeige (Display) oder

- 6 -

zum Erkennen der Unterschreitung eines kritischen Grenzdrucks zugrundegelegt:

$$\Delta P = \Delta P_{T_0} + \Delta P_k, \quad (3)$$

$$\text{mit } \Delta P_{T_0} = n * k * ((T_{\text{mess}} - T_0) / V) \quad (4)$$

$$\text{und } \Delta P_k = n * k * \Delta T_k / V. \quad (5)$$

wobei ΔT_k eine auf die nachfolgend beschriebene Weise zu ermittelnde Korrekturtemperatur ist, mit der die aktuell, insbesondere über den Reifendrucksensor, bestimmte Temperatur T_{mess} korrigiert werden muß.

Die Korrekturtemperatur ΔT_k wird bevorzugt nach der Formel

$$\Delta T_k = n * k * \Delta T_k / V. \quad (6)$$

A: Ermittlung der konstanten Anteile der Berechnungsformel

Um die oben erwähnte Umrechnung des ermittelten Drucks in einen anzuzeigenden Druck durchführen zu können, wird zunächst nach dem Verfahren der Erfindung die Konstante $C = n * K / V$ bevorzugt durch Interpolation der Kurve $P_{\text{mess}}(T_{\text{mess}})$ ermittelt.

Die Interpolation erfolgt besonders bevorzugt durch Messung von zwei oder mehreren Druck und Temperaturwertepaaren P_i , T_i , welche insbesondere gemäß dem Verfahren der linearen Regression durch eine Gerade $P_{\text{mess}} = C * T_{\text{mess}}$ angenähert werden.

Ganz besonders bevorzugt wird der Wert der Konstanten C in einem Speicher eines elektronischen Steuergerätes permanent gespeichert, so daß dieser auch nach Zündungsneustart zur Verfügung steht. Insbesondere wird die Genauigkeit der Interpolation nach und nach durch ständiges Hinzufügen neuer $P_{mess,i}$, $T_{mess,i}$ - Wertepaare erhöht. Hierdurch kann vorteilhafterweise die Genauigkeit der Interpolation im Laufe der Zeit immer weiter erhöht werden.

B: Kompensation der ermittelten Reifentemperatur

Es wird bei einer Anzeige des Reifendrucks z.B. im Armaturenbrett mit Hilfe der ermittelten Gastemperatur auf eine Referenztemperatur T_0 (z.B. Raumtemperatur, 20 °C) umgerechnet und dieser umgerechnete Wert als aktueller Reifendruckwert bezogen auf die Temperatur T_0 angezeigt. Selbstverständlich kann alternativ auch ein Korrekturdruck ΔP_{T_0} berechnet werden.

C: Korrektur der Temperatur

Stimmt die Temperatur des Temperatursensors, welcher zur Druckbestimmung herangezogen wird (z.B. Temperatursensor des TPMS-Radmoduls), nicht mit der Gastemperatur überein, muß diese korrigiert werden.

C1: Korrektur des Reifendrucktemperaturmeßwertes auf Basis der Erkennung einer Dynamik im Temperaturmeßwert

Bevorzugt wird daher das zeitliche Verhalten der Temperaturinformation eines Sensors und/oder eine bzw. mehrere der oben genannten virtuellen Temperaturen betrachtet. Wird eine

Änderung der so erhaltenen Temperaturinformation festgestellt, wird vorzugsweise durch Betrachtung der zeitlichen Änderung des Verlaufs der Temperatur die voraussichtliche Endtemperatur abgeschätzt. Diese Abschätzung läßt sich besonders bevorzugt durch Interpolation mittels einer Exponentialfunktion durchführen. Auf diese Weise kann beispielsweise ein zu erwartender Temperaturendwert ΔT_0 berechnet werden. Sind beispielsweise lediglich zwei Temperaturwerte bekannt, kann bereits eine Exponentialfunktion ermittelt werden.

Die vorzunehmenden Korrektur ergibt sich dann zu

$$\Delta T_k = \Delta T_0 * \exp (-a * t).$$

Der Korrekturwert wird zweckmäßigerweise zeitabhängig gemäß der Formel reduziert, so daß sich der gemessene Druckwert dem angezeigten Druckwert immer mehr annähert.

C2: Korrektur der Temperaturmeßwerte unter Verwendung zusätzlicher Temperaturinformationen

Das zeitliche Verhalten der Temperaturinformation kann insbesondere von einem Reifendrucksensor, einem Außentemperatursensor oder einem virtuellen Sensor ermittelt werden. Bei einem Reifendrucksensor und einem Außentemperatursensor können die gemessenen Temperaturwerte direkt zur Ermittlung der Exponentialfunktion verwendet werden.

C2.1: Korrektur des Reifentemperaturwertes mittels der Bremsscheibentemperatur

Wird die Information eines Bremsscheibentemperatursensors ausgewertet, erhält man eine Information über die Erwärmung der Reifenluft, welche durch die Abstrahlung der Bremsscheibe hervorgerufen wird. Vorzugsweise wird die von der Bremsscheibe auf den Reifen übertragene Wärmemenge, aus der Differenz der Bremsscheibentemperatur und der Reifentemperatur mit Hilfe einer zum Beispiel experimentell zu ermittelten Proportionalitätskonstante abgeschätzt. Die so ermittelte Kompensationstemperatur T_k wird als die Differenz zwischen alter Temperatur und neuer Temperatur angenommen. Deren zeitlicher Verlauf wird mit einer zu ermittelten Exponentialfunktion, wie in Fig. 2 dargestellt, bestimmt. Hierdurch wird ein zeitabhängiger Verlauf von T_k erhalten. Im zeitlichen Verlauf der Funktion nähert sich die Korrekturtemperatur immer mehr einem Konstanten Wert ΔT_{k0} an. Der Wert von ΔT_{k0} läßt sich experimentell ermitteln und im System speichern.

C2.2 Korrektur des Reifentemperaturwertes durch Berechnung der Temperatur des Reifens aus fahrdynamischen Größen (virtuelle Temperatur)

Die Berechnung der virtuellen Reifentemperatur erfolgt vorzugsweise durch Verwendung von Fahrzustandsgrößen, welche in einem Steuergerät eines elektronischen Bremssystems ohnehin zur Verfügung stehen, wie z.B. Radmoment M , Längsbeschleunigung $a_{\text{längs}}$, oder der Querschleunigung a_{quer} . Besonders bevorzugt wird aus dem Fahrzustand der aktuelle Reifenzustand bestimmt. Die Berechnung kann durch nachfolgende Formel ausgedrückt werden:

- 10 -

$$T_{\text{Reifen},i} = f(\text{Fahrtdynamikgrößen}),$$

wobei f eine mathematische Funktion ist und i eine der Reifenpositionen im Fahrzeug spezifiziert.

Die Reifentemperatur wird insbesondere als die Summe aus einzelnen Temperaturgliedern angesehen, welche auf die Reifentemperatur Einfluß haben. Diese einzelnen "Reifentemperaturanteile" werden wiefolgt über die Zeit aufsummiert:

$$T_{\text{Reifen},i} = \sum^{\text{Zeit}} \Delta T_{\text{Reifen}}$$

Die Berechnung erfolgt bevorzugt für jeden Reifen i getrennt. Ein Beispiel für eine Berechnungsformel ist nachfolgend angegeben:

$$\begin{aligned} \Delta T_{\text{Reifen}} = & \alpha * M * \Delta t \\ & + \beta * a_{\text{längs}} * \Delta t \\ & + \gamma * a_{\text{quer}} * \Delta t \\ & - \delta * (T_{\text{Reifen}} - T_{\text{Umgebung}}) * \Delta t, \end{aligned}$$

wobei

k_1 der Wärmeübergangskoeffizient zwischen Reifen und Umgebung ist,

Δt ein Zeitintervall, z.B. die Loopdauer des elektronischen Bremsenreglers ist,

T_{Umgebung} die Temperatur gemessen an einem Außentemperatursensor ist, und

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ Proportionalitätsfaktoren sind, welche sich zum

- 11 -

Beispiel experimentell ermitteln lassen und den jeweiligen Einfluß der physikalischen Größe auf die Reifentemperatur wiedergeben.

Die experimentell ermittelbaren Größen können dann als Reifenunabhängig angesehen werden, wenn die erfindungsgemäß durchzuführende Temperatur- bzw. Druckkorrektur mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftet als ausreichend angesehen werden soll. Wird eine besonders hohe Übereinstimmung mit der geschätzten Reifenlufttemperatur mit der tatsächlichen Reifenlufttemperatur gewünscht, kann es sinnvoll und zweckmäßig sein, die obigen Proportionalitätskonstanten $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ in Abhängigkeit vom Reifentyp zu variieren.

Zeitabhängige Betrachtungen

Wenn Konstante C und Korrekturtemperatur ΔT_k gemäß obigen Verfahren ermittelt wurde, wird eine Korrektur des gemessenen Reifendruckwertes vorgenommen.

Der Differenzdruck $|\Delta P|$ wird jeweils um den Teil $|\Delta P_k|$ erhöht, welcher durch einen angenommenen Temperaturfehler (gemessene Temperatur zu Reifenlufttemperatur) verursacht sein könnte.

Die Druckdifferenz ΔP_k beträgt:

$$|\Delta P_k| = C * \Delta T_k * \exp(-a * t).$$

Dieser Wert wird exponentiell mit der Zeit reduziert.

Ein entsprechender (zusätzliche) Korrekturterm ergibt sich durch Berücksichtigung der am Außentemperatursensor gemessenen Temperatur:

ΔP wird zusätzlich um den Teil ΔP_k erhöht, welcher durch über das Signal des Außentemperatursensors abgeschätzt wurde:

$$|\Delta P_k| = C * |\Delta T|.$$

Dabei wird $|\Delta T|$ nach unten abgeschätzt zu $\Delta(T_{\text{außen}} - T_{\text{Reifensensor}})$.

$|\Delta T|$ wird nach oben abgeschätzt zu $\text{MAX}_i(\Delta T_{\text{außen},i} - T_{\text{Reifensensor},i}) * \exp(-a * t)$, wobei i über alle Reifen des Kfz gezählt werden.

Es zeigen

Fig. 1 eine schematische Darstellung des zeitlichen Verlaufs der ermittelten Temperaturen bei einem sprunghaften Wechsel der Außentemperatur und

Fig. 2 eine schematische Darstellung des zeitlichen Verlaufs der ermittelten Temperaturen bei einer Erwärmung des Reifens durch eine erhitzten Brems-scheibe.

In Fig. 1 stellt Kurve 1 den Verlauf der Außentemperatur dar, welche mit einem Sensor gemessen wurde. Kurve 1 springt von ca. $+15^\circ \text{C}$ auf eine niedrigere Temperatur von etwa -20°C . Ein solcher Sprung kann zum Beispiel dann auftreten,

wenn ein Kraftfahrzeug im Winter aus der Garage herausgefahren wird. Kurve 2 gibt den Verlauf der Felgentemperatur wieder (Temperatursignal des Drucksensors). Kurve 3 eines im Motorraum angeordneten Temperatursensors einer elektronischen Bremsanlage zeigt einen gegenüber Kurve 2 abgeflachten Verlauf. Die Temperatur des Reifens, welche durch Kurve 4 wiedergegeben wird, ändert sich gegenüber Kurven 1 bis 3 vergleichsweise langsam. Allen Kurven 2 bis 4 ist gemein, daß sie näherungsweise entsprechend einer Exponentialfunktion verlaufen.

Aus dem Verlauf von Kurve 2 kann der Endwert für die Felgentemperatur schätzungsweise berechnet werden. Aus dem Endwert kann dann unter der Voraussetzung, daß auch die E-Funktionskonstante des Reifens bekannt ist, der Zeitpunkt die Endtemperatur des Reifens, bei der ein vollständiger Temperatúrausgleich angenommen wird, abgeschätzt werden.

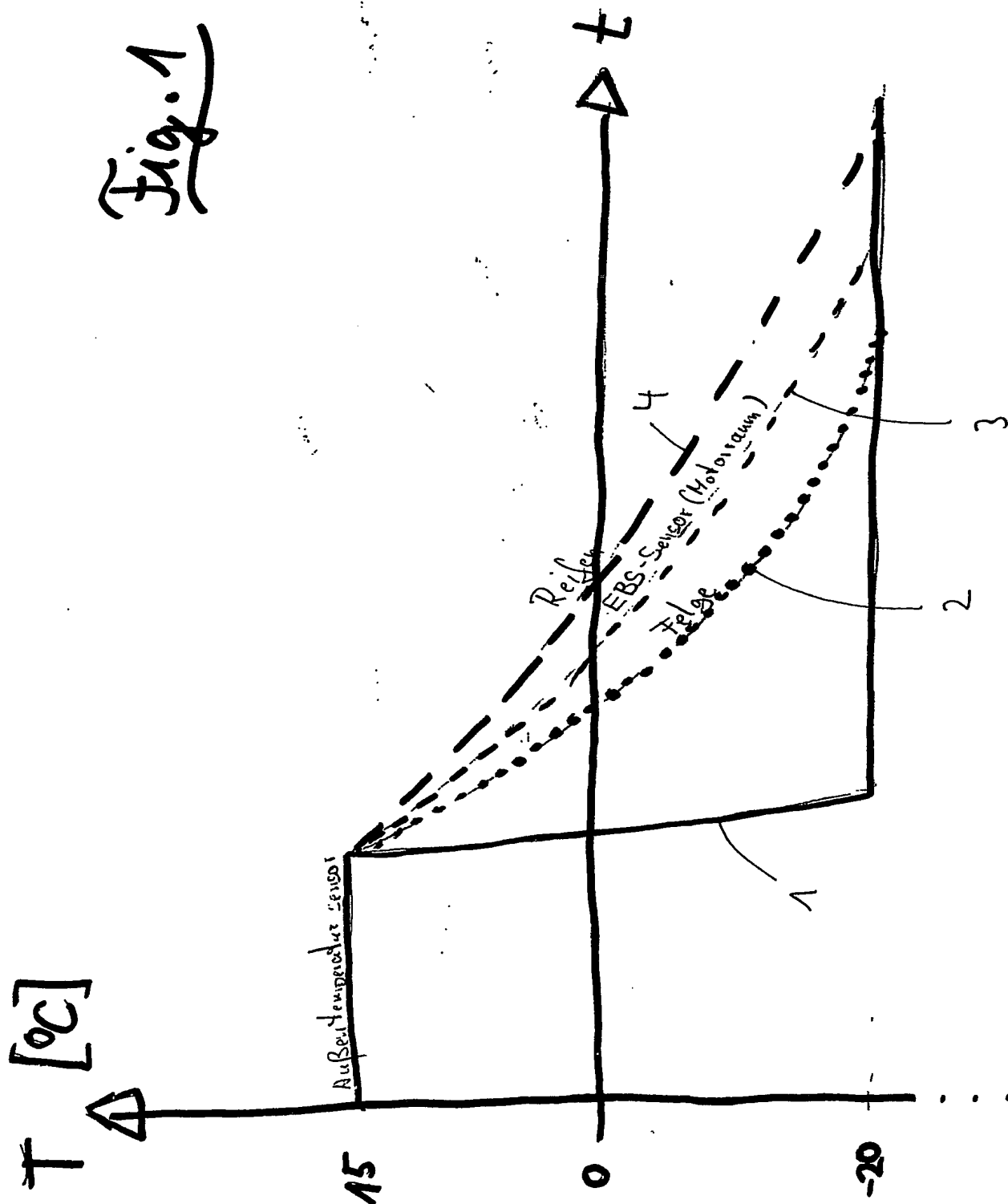
Im Unterschied zu Fig. 1 gibt Fig. 2 den Temperaturverlauf von Sensorinformationen wieder, wenn die Reifentemperatur auf Grund einer Erhitzung durch die Bremsscheibe erhöht wird, z.B. bei einer längeren Bergabfahrt oder bei andauerndem Bremseneingriff einer Antriebsschlupfregelung. Die Bremsscheibentemperatur wird durch Kurve 5 wiedergegeben und steigt zunächst stetig an. Diese kann entweder über einen Sensor bestimmt werden oder aber gemäß dem weiter oben beschriebenen Temperaturmodell rechnerisch aus den fahrdynamischen Größen bestimmt werden. Die Reifentemperatur zeigt Kurve 4. Diese steigt langsamer an, als die Temperatur der Felge und somit des Reifentemperatursensors 4. Die Temperatur der Reifenluft gibt Kurve 6 wieder. Diese steigt langsamer an, als die Temperatur der Felge.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Gastemperatur in einem mit Gas gefüllten Kraftfahrzeugreifen, wobei das Verfahren insbesondere in einem System zur Erkennung des Reifenluftdrucks und/oder zur Erkennung eines Reifenluftdruckverlustes durchgeführt wird, dadurch **gekennzeichnet**, daß mehrere Temperaturinformationen für eine möglichst genaue Bestimmung der Gastemperatur gemeinsam betrachtet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Temperaturinformation eines Temperatursensors an oder in der Felge gemeinsam mit einer weiteren Temperaturinformation betrachtet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch **gekennzeichnet**, daß die weitere Temperaturinformation sensorlos bestimmt wird, insbesondere mittels eines Temperaturmodells.
4. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch **gekennzeichnet**, daß mit der bestimmten Gastemperatur ein für den Reifen ermittelter Druckwert korrigiert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch **gekennzeichnet**, daß der ermittelte Druckwert mittels eines im Reifen angeordneten Drucksensors gemessen wird.
6. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch **gekennzeichnet**, daß eine weitere Temperaturinformation ein Temperaturmodell der Bremsscheibe ist.

7. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch **gekennzeichnet**, daß eine weitere Temperaturinformation ein Temperaturmodell des Reifens ist.

Fig. 1



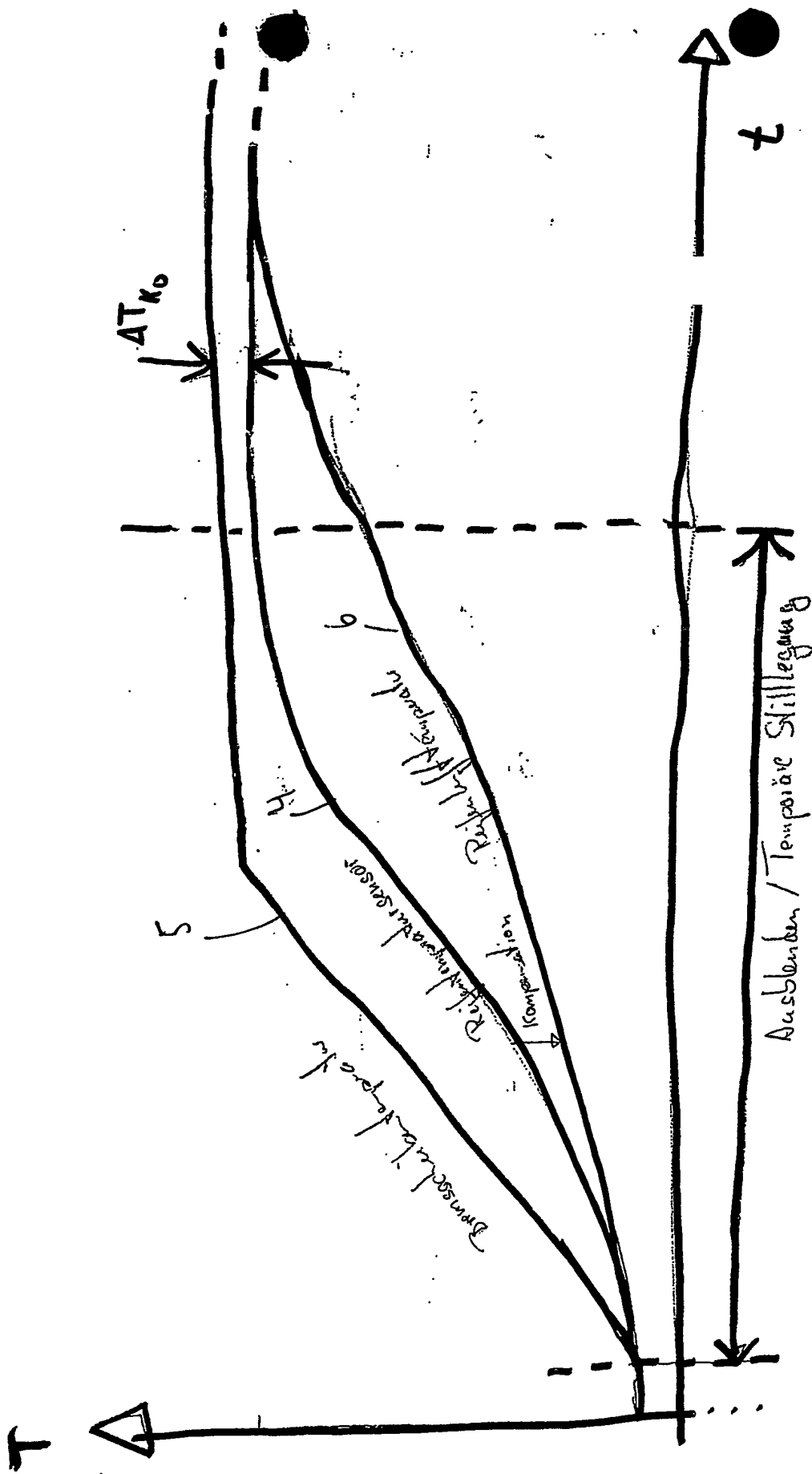


Fig. 2